

## Микрофлюидное устройство для исследования кристаллообразования карбоната кальция в водном растворе солей

Карней Татьяна Викторовна

Бакирский государственный университет

Саметов Сергей Павлович, к.ф.-м.н.

[tkarpey@mail.ru](mailto:tkarpey@mail.ru)

Одним из самых распространенных видов осложнений при эксплуатации нефтяных скважин является солеотложение на скважинном оборудовании [1]. Выпадение неорганических солей приводит к увеличению числу аварийного ремонта скважин, простоев скважин, уменьшению дебита нефти, удорожанию себестоимости нефти. Среди неорганических солей можно выделить такие соли, как карбонат кальция, магния, сульфат кальция, бария, кальция, хлорид натрия, встречающиеся во многих нефтедобывающих регионах Российской Федерации: Западная Сибирь, Башкирия, республика Татарстан, Пермь, Оренбург [2].

Солеобразование при разработке и эксплуатации залежей нефти – достаточно сложный и многофакторный процесс, обусловленный как природными, так и техногенными явлениями. Попутно добываемая вода является основным источником солеотложений в нефтедобыче. Это связано с ее перенасыщением труднорастворимыми солями, что происходит под действием меняющихся условий добычи – температуры, давления, концентрации солеобразующих ионов и других факторов. Вода представляет собой хороший растворитель для многих веществ и способна при этом переносить большие количества растворенных минеральных солей.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование динамики образования кристаллов карбоната кальция при смешивании водных растворов солей хлорида кальция и карбоната натрия. Кристаллы карбоната кальция образовывались в каналах микрофлюидного устройства, который был изготовлен с помощью метода мягкой литографии. Микрофлюидное устройство оптически прозрачно и имеет два входных канала для подачи исходных реагентов и один выходной для вывода продуктов реакции (рис.1). Ячейка изготовлена с применением оптически прозрачных материалов – стекло и полимер полидиметилсилоксан (ПДМС), что позволяет вести регистрацию оптических изображений микроканала при течении реагентов и регистрировать образование кристаллов. Высота микроканалов составляет 100 мкм.

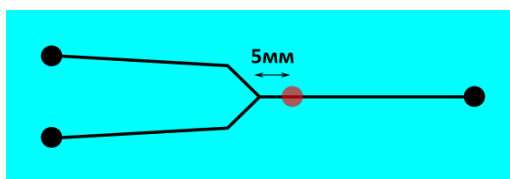


рис.1. Схема экспериментальной ячейки.

В работе использовались растворы  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{CaCl}_2$  с концентрацией 0,01 моль/л, скорость течения смеси устанавливалась 2 мкл/мин. Регистрация изображения микроканала производилась в месте удаленном от места смешения на 5 мм. Реагенты прокачивались через микроканал в течение 20 минут. Процесс осаждения кристаллов регистрировался на видеокамеру.

На рисунке 2 показаны изображения кристаллов карбоната кальция, осажденные в микроканале. Во всех экспериментах наблюдались кристаллы двух типов. Кристаллы 1-го типа с четко выраженными гранями, вероятнее всего, являются кристаллами кальцита, а поликристаллические образования округлой формы (тип 2) – ватеритом.

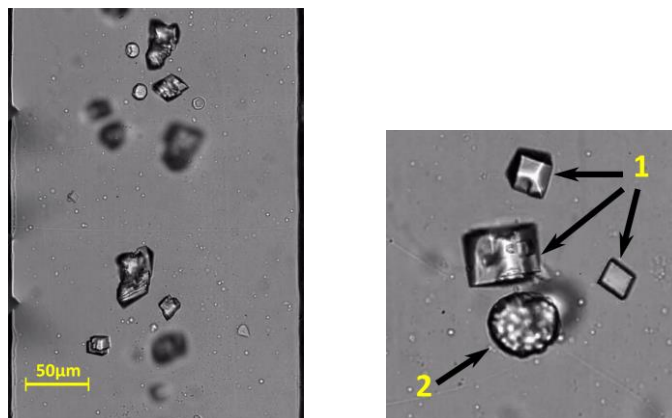


рис.2. Кристаллы карбоната кальция в микроканале.

Полученные изображения иллюстрируют возможность использования микрофлюидного устройства для получения, визуализации и анализа роста кристаллов карбоната кальция. Однако многочисленные эксперименты показывают плохую повторяемость для размера и количества кальцитов и ватеритов. Качественный анализ образования и скорости роста кристаллов сильно зависит от условий, которые должны быть воспроизводимы [3]. Одним из эффективных методов для получения воспроизводимых данных следует считать образование кристаллов внутри капель [4].

Список публикаций:

- [1] Канзафаров Ф. Я. и др. Влияние солеотложения на процесс коррозии эксплуатационных колонн добывающих скважин // Вестник ЦКР Роснедра. – 2013. – №. 1.
- [2] Исаева Г.Ю. Разработка методики и модели компьютерного прогнозирования процесса солеотложения в нефтяных пластах при заводнении // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06. – Москва, 2000. – 163 с.
- [3] Yashina A., Meldrum F., deMello A. Calcium carbonate polymorph control using droplet-based microfluidics // Biomicrofluidics. – 2012. – Т. 6. – №. 2. – С. 022001.
- [4] Laval P. et al. Microfluidic screening of potassium nitrate polymorphism // Journal of Crystal Growth. – 2008. – Т. 310. – №. 12. – С. 3121-3124.

## **Численное моделирование течения газа в каналах с учетом микроструктуры поверхности**

**Кузнецов Максим Александрович**

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*Токманцев Валерий Иванович*

[taxbsp@mail.ru](mailto:taxbsp@mail.ru)

Задача расчета параметров течений внутри каналов в свободномолекулярном и промежуточном режимах до сих пор не имеет полного решения, в то время, как её актуальность достаточно высока. Решение этой задачи могло бы открыть новые возможности науки и техники при создании систем охлаждения и в области передачи тепловой энергии, при проектировании микро-электромеханических систем (MEMS) и приборов точного измерения давления и температуры.

С увеличением степени разреженности газа влияние микроструктуры стенки канала на параметры течения газа значительно возрастает. Это обусловлено увеличением длины свободного пробега и уменьшением частоты межмолекулярных столкновений. В то же время, учет кристаллической решетки и микронеровности стенки сильно усложняет процесс моделирования [1].

В данной работе проводится численное моделирование течения газа в микроканале с учетом микронеровности стенки. Расчет производился с использованием  $10^7$  частиц методом прямого статистического моделирования. Микроструктура поверхности стенки канала моделируется на основе данных, полученных экспериментальным путем методами атомно-силовой микроскопии с реальных образцов кремния. В работе были использованы данные атомно-силовой микроскопии реального кремниевого образца размером  $(20 \times 20)$  мкм (с базой данных по  $N = 400 \times 400 = 1,6 \cdot 10^5$  измерений высоты) с высотой микронеровностей от нескольких до  $\sim 2000$  нм.

В качестве характеристики шероховатости канала использовалась относительная высота микронеровности  $h = \bar{h}/R$ , где  $\bar{h}$  - средняя высота неровностей образца,  $R$  - радиус цилиндрического канала [2].

Для расчета точки столкновения частицы с элементом поверхности использовался специализированный алгоритм, позволивший существенно сократить время расчета и увеличить число модельных частиц, повысив точность получаемых результатов.

В работе были получены вероятности прохождения, профили температуры, давления и макроскопической плотности для цилиндрических каналов в свободномолекулярном режиме с различной относительной длиной  $L$ , относительной шероховатостью стенок  $\bar{h}$  и долей  $\varepsilon$  диффузно-зеркального рассеяния частиц на стенке [3].

Список публикаций:

- [1] Ухов А.И., Породнов Б.Т., Борисов С.Ф. Аккомодация энергии гелия на чистой и частично заполненной адсорбатом поверхности вольфрама // Перспективные материалы. Специальный выпуск №8. Февраль 2010. С. 42-48.
- [2] Саксаганский Г.Л., Молекулярные потоки в сложных атомных структурах. Москва: Атомиздат, 1980. С. 216
- [3] Берд Г. Молекулярная газовая динамика. Москва: Мир, 1981, С. 319